

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Studium odporového svařování řetězu třídy jakosti 10

Study of Resistance Welding Chain Class 10

Student: Martin Horák

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.

Ostrava 2014

Zadání bakalářské práce

Student:

Martin Horák

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Studium odporového svařování řetězu třídy jakosti 10
Study of Resistance Welding Chain Class 10

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te studii odporového svařování oceli 23MnNiMoCr5-4.
2. Navrhněte parametry svařování řetězu pevnostní třídy 10 odporovým svařováním.
3. Navrhněte technologický postup tepelného zpracování.
4. Navrhněte experimentální ověření vlastností svarových spojů.
5. Proved'te diskuzi dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- KOUKAL, J., ZMYDLENÝ, T. *Svařování I: Učební texty*. 1. vydání. VŠB-TU Ostrava. 2005. 133 s. ISBN 80-248-0870-6
- KOUKAL, J., SCHWARZ, D., HAJDÍK, J. *Materiály a jejich svařitelnost: Učební texty*. 1. vydání. VŠB-TU Ostrava. 2009. 240 s. ISBN 978-80-248-2025-5
- HRIVŇÁK, I. *Teória zvariteľnosti kovov a zliatin*. 1. vydání. VSAV Bratislava. 1989. 344 s. ISBN 80-224-0016-5
- KOUKAL, J., SCHWARZ, D., SONDEL, M., HAJDÍK, J. *Svařitelnost a vlastnosti svarových spojů, 9%Cr modifikovaných ocelí*. 1. vydání. ČSÚ Ostrava. 2011. 92 s. ISBN 978-80-248-2474
- Předpis PAS 5687-4

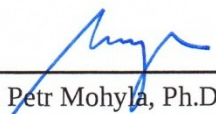
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014




Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 15. 5. 2014



.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 15. 5. 2014



.....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Martin Horák

Adresa trvalého pobytu autora práce: Vrchlického 1253, Jeseník, 79001

Anotace

HORÁK, M. *Studium odporového svařování řetězu třídy jakosti 10*. 2014. 35 s. Bakalářská práce na fakultě strojní VŠB-Technické univerzity Ostrava na katedře mechanické technologie. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.

Tématem této práce je studium odporového svařování řetězu třídy jakosti 10. Cílem práce je pokusit se navrhnout parametry odporového svařování a tepelného zpracování, které povedou ke splnění požadavků uvedených v normě PN 46-04 a předpisu PAS 1061. V teoretické části popisují výrobu vysokopevnostních řetězů a jejich tepelné zpracování pomocí indukčního ohřevu. Také je zde popsána norma PN 46-04, předpis PAS 1061 i složení oceli 23MnNiMoCr5-4. Na vzorcích svařených řetězů byly zkoumány mechanické vlastnosti. Výsledky jednotlivých zkoušek jsou vyhodnoceny a podle jejich závěrů byly vybrány nejvíce vyhovující parametry výroby řetězů třídy jakosti 10.

Annotation

HORÁK, M. *Study of resistance welding chain strenght class 10*. 2014. 35 p. Bachelor Work at the Faculty of Mechanical Engineering VŠB-Technical University of Ostrava in the Department of Mechanical Technology. Bachelor Work Leader doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.

The theme of this work is to study the resistance welding chain strenght class 10. The objective is to propose parameters of resistance welding and heat treatment, which lead to the fulfillment of requirements specified in the norm PN 46-04 and prescription PAS 1061. The theoretical part describes the production of high-strength chains and their heat treatment by induction heating. Also is described norm PN 46-04, prescription PAS 1061 and the composition of steel 23MnNiMoCr5-4. The samples welded chains were examined mechanical properties. The results of individual tests are evaluated and their conclusions were selected the most suitable parameters of the production chains strenght class 10.

Obsah

1 Úvod	9
2.1 Vysokopevnostní řetězy třídy jakosti 10	10
2.2 Odporové svařování	10
2.2.1 Stykové přechovací svařování	11
2.2.2 Odporové svařování na stroji KEH 8	11
2.3 Tepelné zpracování pomocí indukčního ohřevu	13
2.4 Ocel 23MnNiMoCr5-4	15
2.5 Podniková norma PN 46-04 díl 2 a předpis PAS 1061	16
3 Experiment	19
3.1 Návrh svařovacích parametrů	19
3.2 Parametry tepelného zpracování	21
3.3 Kvalitativní zkoušky řetězů	22
3.3.1 Zkouška tvrdosti	22
3.3.2 Zkouška tahem	22
3.3.3 Zkouška ohybem	23
3.3.4 Zkouška na únavu při kmitavém napětí	23
3.3.5 Zkouška vrubové houževnatosti	24
3.3.6 Zkouška na odolnost proti korozi	25
4 Výsledky	26
4.1 Výsledky zkoušky tvrdosti	26
4.2 Výsledky zkoušky tahem	26

4.3 Výsledky zkoušky ohybem	30
4.4 Výsledky zkoušky na únavu při kmitavém napětí	31
4.5 Výsledky zkoušky vrubové houževnatosti.....	31
4.6 Výsledky zkoušky na odolnost proti korozi.....	32
5 Diskuze výsledků a závěr.....	33
6 Seznam použité literatury	35

Seznam použitých zkratk

ŘČV, a.s.....Řetězárna, a.s.

Seznam použitých veličin

t.....čas.....s

t.....teplota.....°C

F.....síla.....N

I.....svařovací proud.....A

Re.....mez kluzu.....MPa

Rm.....mez pevnosti.....MPa

Z.....kontrakce.....%

A₅.....tažnost.....%

HV.....tvrdost podle Vickerse.....1

HRC.....tvrdost podle Rockwella....1

KV.....nárazová práce.....J

1 Úvod

Na trhu je velká poptávka po vysokopevnostních řetězech třídy jakosti 10. Tyto řetězy se používají pro účely zvedání, montáž vazacích prostředků a důlní použití. Vyznačují se vysokou pevností v tahu, odolností proti opotřebení a zároveň splňují vysoký koeficient bezpečnosti.

Jednou z možností jak získat nové zákazníky pro ŘČV, a.s. je obdržení výrobního certifikátu oborové zkušebny (BG) SRN v Hannoveru pro řetězy třídy jakosti 10. Tento certifikát vlastní velmi malé množství firem na světě. Jednou z podmínek získání tohoto certifikátu je splnění všech požadavků uvedených v předpisu PAS 1061.

V rámci experimentu této práce byly svařeny a zpracovány vzorky řetězů. Následně byly vyhodnoceny všechny zkoušky, zda tyto řetězy splňují normu PN 46-04 díl 2 a předpis PAS 1061.

2 Teoretická část

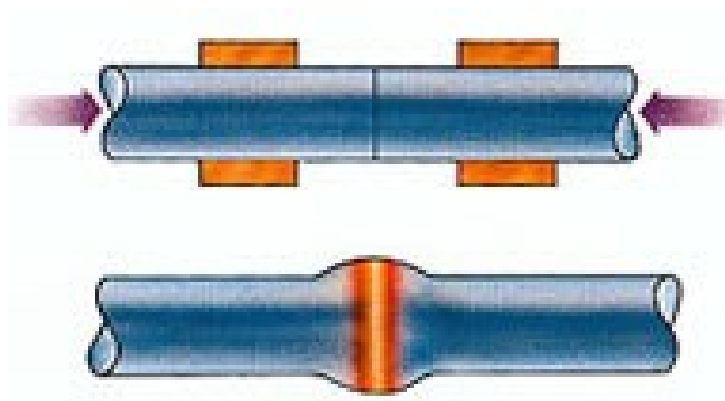
2.1 Vysokopevnostní řetězy třídy jakosti 10

Vysokopevnostní krátkočlánkové řetězy třídy 10, jsou nejčastěji určeny do vázacích prostředků, ke zvedání a manipulaci s břemeny ve všech odvětvích průmyslu. Řetězy lze používat v rozsahu teplot -20°C až 200°C , nesmí být použity do chemicky agresivního prostředí. [2]

V ŘČV, a.s. se pro výrobu těchto řetězů používá ocel 23MnNiMoCr5-4. Tato ocel je určena pro výrobu vysokopevnostních řetězů dle normy DIN 17115. Výroba řetězů třídy 10 je velice obtížná. V ŘČV, a.s. tyto řetězy vyrábí podle podnikové normy PN 46-04 díl 2, která vychází z normy EN 818-8. Mimo této normy se používá ještě předpis PAS 1061, jenž obsahuje požadavky, které lze velmi obtížně splnit.

2.2 Odporové svařování

Tento způsob svařování využívá teplo, které vzniká průchodem svařovacího proudu spojovanými materiály. Po ohřátí se svařované části stlačí a tím se svaří. Nepoužívá se tedy žádný přídavný materiál.



Obr.1 - Odporové svařování natupo [5]

2.2.1 Stykové pēchovací svařování

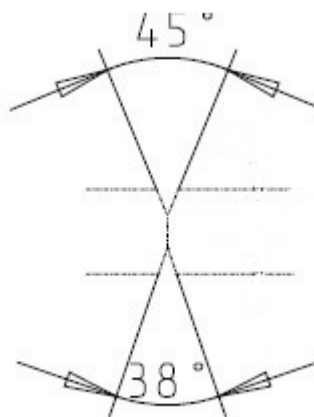
Při výrobě řetězů na strojích KEH 8 se používá stykové pēchovací svařování. U tohoto typu svařování se používají velké pētláčné síly. Při svařování se vytvoří výronek, který se vytváří i po vypnutí svařovacího proudu až dokud materiál neztuhne.

Základní svařovací parametry

- svařovací proud
- svařovací síla (pēchovací síla)
- délka spēchování
- svařovací čas

2.2.2 Odporové svařování na stroji KEH 8

Stroj pracuje plně automaticky. Naohýbané články řetězu s úpravou svarových ploch (viz.obr.2) jsou průběžně svařeny, pēčemž výronky jsou odstřiženy. Bēhem svařování je článek řetězu řízenē stlačeny a pēbytečný materiál je vytlačován do svārecího výronku. Nepřetržitē vyvozovaná pēchovací síla slouží jako řídící veličina regulace svařování a zajišťuje stály ohřev místa svāru. [6]



Obr.2 – Pēříklad úpravy svarových ploch ohnutých článků [6]

Ve fázi konečného pēchování je článek řetězu prudce stlačen. Tento rychlý stupeň tvāření vede k nové krystalizaci. Vzniká rekrystalizovaná struktura s malou zrnitostí.

U ideálně svařeného článku řetězu, tvoří průměr zesílení sváru $1,3 \times$ průměru drátu. Zesílení je trochu roztrhané, ukazuje se malá stopa tavení, která vystupuje z roztržení návarku. [6]



Obr.3 - Ohnutý článek



Obr.4 - Svařený článek – výronek

2.3 Tepelné zpracování pomocí indukčního ohřevu

Indukční ohřev umožňuje rychlý, koncentrovaný a řízený ohřev s velmi vysokou kvalitou a účinností. Při indukčním ohřevu se teplo vytváří přímo v materiálu pomocí vířivých proudů.

Není potřebný žádný fyzický kontakt s materiálem. Indukčně lze tedy ohřívat všechny elektricky vodivé materiály. Jedná se o čistý proces, vhodný k použití ve většině prostředí.

Princip

Pokud se do cívky vloží kovový předmět, indukují se v něm vířivé proudy. V důsledku odporu materiálu vzniká v oblasti, kterou vířivé proudy tečou, teplo. Efekt ohřevu vzrůstá spolu s nárůstem intenzity pole a je ovlivňován magnetickými vlastnostmi kovového předmětu a vzdáleností cívky od předmětu. [7]



Obr.5 - Indukční ohřev – průběžná vertikální pec

Aplikace

Systém FC200×2/FC100/FC60 pro indukční ohřev je určen pro postupné kalení a popouštění řetězů. Velikosti řetězů se mohou pohybovat od \varnothing 16–34 mm tyto řetězy mohou být krátkočláňkové nebo dlouhočláňkové.

Zařízení FC200×2/FC100/FC60 se skládá ze dvou částí:

- kalící zařízení – měnič kmitočtu FC200×2; indukční cívky (jedna pro přehřívání, jedna pro austenizaci)
- popouštěcí zařízení – měnič kmitočtu FC100/FC60; indukční cívky (jedna pro schenkelovo kalení, jedna pro homogenní kalení) [7]

Základní parametry vertikální průběžné pece

- rychlost řetězu
- výkon kalícího a popouštěcího zařízení

Polyquench 500D

Polyquench 500D je kalící prostředek na bázi polymeru typu „PAG“ s mírným kalícím účinkem, který leží mezi olejem a vodou.

- použití: zejména při indukčním povrchovém kalení součástí náchylných ke vzniku kalících trhlin.

Doporučená koncentrace 6–20 % zbytek pitná voda, doporučená teplota lázně 20–40 °C.

Servitol 3070

Slouží k černění součástí po kalení nebo popouštění, ale zároveň způsobuje dobrou odolnost proti korozi při skladování.

Doporučená koncentrace 12–15 % zbytek pitná voda, doporučená teplota lázně 60–80 °C.

2.4 Ocel 23MnNiMoCr5-4

Tato ocel je určena pro výrobu řetězů dle normy DIN 17115-1987.

Tab.1 - Chemické složení oceli 23MnNiMoCr5-4

Chemické složení (%)											
	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	N	Al
min.	0,2	1,1					0,4	0,9	0,5		0,02
max.	0,26	1,4	0,25	0,02	0,02	0,25	0,6	1,1	0,6	0,012	0,05

Legující prvky a jejich vliv na vlastnosti materiálu

Uhlík

- ovlivňuje pevnost, tvrdost a kalitelnost
- s rostoucím obsahem uhlíku stoupá pevnost, ale klesá plasticita a houževnatost

Mangan

- zvyšuje mez pevnosti a mez kluzu
- pomocí manganu můžeme snížit obsah síry v oceli, svarovém kovu [1]

Křemík

- zajišťuje vysokou hodnotu meze pružnosti, zvyšuje odolnost proti korozi a žáruvzdornost
- zhoršuje tvárnost [4]

Fosfor

- zvyšuje odolnost proti korozi, hlavně ve spojení s mědí
- snižuje plasticitu oceli

Síra

- zlepšuje obrobitelnost
- vysoký obsah síry způsobuje vznik lamelárních trhlin

Měď

- chrání před atmosférickou korozi, zlepšuje kalitelnost
- zhoršuje svařitelnost a houževnatost [4]

Chrom

- zvyšuje odolnost proti korozi, prokalitelnost, pevnost, otěruvzdornost, pevnost za tepla [1]

Nikl

- zlepšuje plastické vlastnosti, zvyšuje prokalitelnost

Molybden

- zvyšuje prokalitelnost, pevnost za tepla, odolnost proti korozi a chemickým vlivům

Dusík

- snižuje plastické vlastnosti, zvyšuje mez kluzu, mez pevnosti, tvrdost

Hliník

- snižuje náchylnost ke stárnutí
- zvyšuje odolnost proti oxidaci [4]

2.5 Podniková norma PN 46-04 díl 2 a předpis PAS 1061

Výroba závěsných řetězů třídy 10 je velmi náročná. V ŘČV, a.s. tyto řetězy vyrábíme podle normy PN 46-04 díl 2 [2] a mimo rozměrů musí splňovat tyto parametry:

Výrobní zkušební síla

- podrobení výrobní zkušební síle podle tab.2 pro aktuální jmenovitou tloušťku

Síla při přetržení

- musí dosáhnout minimálně hodnoty uvedené v tab.2

Prodloužení při přetržení

- musí být u přirozeně černého řetězu minimálně 25%, u jiného povrchu alespoň 20%

Průhyb

- zkušební články musí odolat průhybu uvedenému v tab.2 a nesmí mít žádné viditelné vady

Vrubová houževnatost

- z nesvařených ramen článků tří vzorků musí být průměrná hodnota nárazové práce min. 42 J, žádná zkouška nesmí být menší než 28 J.

Únavová životnost

- minimálně 20 000 kmitů. Horní zatížení je 1,5 násobek nosnosti podle tab.2.
- spodní zatížení je určeno silou 3 kN

Tab.2 - Nosnosti a zkušební hodnoty

Jmenovité tloušťky [mm]	Nosnost [t]	Výrobní zkušební síla [kN]	Síla při přetržení [kN] min.	Průhyb [mm] min.
4	0,63	15,7	25,1	3,2
5	1	24,5	39,3	4
6	1,4	35,3	56,5	4,8
7	1,9	48,1	77	5,6
8	2,5	62,8	101	6,4
10	4	98,2	157	8
13	6,7	166	265	10
16	10	251	402	13
18	12,5	318	509	14
19	14	354	567	15
20	16	393	628	16
22	19	475	760	18
23	20	519	831	18

Mimo normy PN 46-04 díl 2 se používá ještě předpis PAS 1061 [3]. V tomto předpisu jsou další požadavky na závěsné řetězy.

Odolnost vůči korozi

- vzorek řetězu je ponořený v roztoku thiokyanátu po dobu 500 hodin. Po ukončení zkoušky se řetěz zkontroluje pomocí elektromagnetické kontroly na výskyt trhlinek.

Zkouška chování materiálu

- zkouška tahem po jedné hodině udržovací teploty 380 °C. Trhací síla může být nižší o 7%

Obsah legovacích prvků v oceli

- obsah legovacích prvků v minimálních hodnotách podle tab.3

Tab.3 - Minimální obsah legovacích prvků

Prvek	Minimální podíl hmoty při tavné analýze [%]
Nikl	0,70
Chrom	0,50
Molybden	0,30
Hliník	0,025

- obsah síry a fosforu v oceli nesmí být vyšší než udává tab.4

Tab.4 - Obsah síry a fosforu

Prvek	Maximální podíl hmoty při tavné analýze [%]
Síra	0,015
Fosfor	0,015
S + P	0,025

3 Experiment

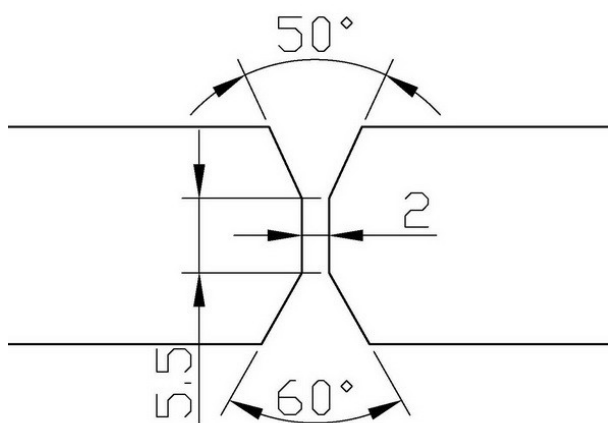
Popis experimentu

V experimentální části této práce se věnuji návrhu svařovacích parametrů, tepelného zpracování a zkoušení řetězu pevnostní třídy 10 a to v rozměru 16 mm × 48 mm × 56,4 mm.

Tento řetěz je vyroben z oceli 23MnNiCrMo5-4, drátu taženého z \varnothing 18 mm na \varnothing 16,8 -0,1 mm.

3.1 Návrh svařovacích parametrů

Svařeny byly celkem 4 vzorky řetězu s úpravou svarových ploch a těmito svařovacími parametry.



Obr.6 - Úprava svarových ploch

- Horní nástřih – 50°
- Spodní nástřih – 60°
- Velikost mezery – 2 mm
- Velikost nástřihu – cca 5,5 mm

Další parametry svařování

Vzdálenost elektrod – 25 mm

Příložný tlak elektrod – 100 bar

Stupeň transformátoru – 3

Tab.5 - Stupně transformátoru [6]

Stupeň napětí	Jmenovité napětí [V]	Jmenovitý výkon [kVA]
1	5,00	158
2	6,66	210
3	8,44	267
4	10,00	315

Nastavení proudu

1. proud čas – 3 periody

1. proud hodnota – 21,8 kA

2. proud čas – 28 period

2. proud hodnota – 27 kA

3. proud čas – 16 period

3. proud hodnota – 24,4 kA

Referenční proud hodnota – 25,8 kA

Nastavení přechování

Přechovací vačka – 0218-41

Přechování během svařování je závislé na materiálu, rozměrech a tvaru řetězu. Aby se dosáhlo optimálního výsledku svařování, jsou k dispozici různé přechovací vačky (přechovací křivky) uvedené v tabulce 6.

Tab.6 - Typy přechovacích vaček [6]

Zdvih přechování [mm]	Sériová vačka	Zvláštní vačka (zlepšený průběh křivky)
4	0218 50	
5	0218 51	0218 41
6	0218 52	0218 42

Tab.7 – Orientační hodnoty pro nastavení přechovací síly [6]

Drát [mm]	Tlak přechování [bar]
13	30
14	30
16	35
18	40
20	45

Pěchovací tlak – 35 bar

Rychlost svařování – 17 článků/min

3.2 Parametry tepelného zpracování

U výroby řetězů v ŘČV, a.s používáme tepelné zpracování za pomoci indukčního ohřevu.

Jednotlivé vzorky řetězu byly zpracovány s těmito parametry:

Vzorek č.1

Rychlost 2,0 m/min

1. ohřev na teplotu 890-900°C; K1 = 54% (131-132 kW)
2. kalení do vody s polymerem – teplota lázně 30°C
3. ohřev na teplotu popouštění ohbí 370°C; K2 = 33% (35-37 kW)
ohřev na teplotu popouštění rameno 410°C; K3 = 50% (30,5 kW)
4. ochlazení do vody s přípravkem proti korozi – teplota lázně 60°C

Vzorek č.2

Rychlost 2,0 m/min

1. ohřev na teplotu 890-900°C; K1 = 54% (131-132 kW)
2. kalení do vody s polymerem – teplota lázně 30°C
3. ohřev na teplotu popouštění ohbí 400°C; K2 = 28% (29-32 kW)
ohřev na teplotu popouštění rameno 470°C; K3 = 60% (36,6 kW)
4. ochlazení do vody s přípravkem proti korozi – teplota lázně 60°C

Vzorek č.3

Rychlost 2,0 m/min

1. ohřev na teplotu 910-920°C; K1 = 56% (137-138 kW)
2. kalení do vody s polymerem – teplota lázně 30°C
3. ohřev na teplotu popouštění ohbí 350°C; K2 = 1% (2,5-4 kW)
ohřev na teplotu popouštění rameno 420°C; K3 = 75% (46,2 kW)

4. ochlazení do vody s přípravkem proti korozi – teplota lázně 60°C

Vzorek č.4

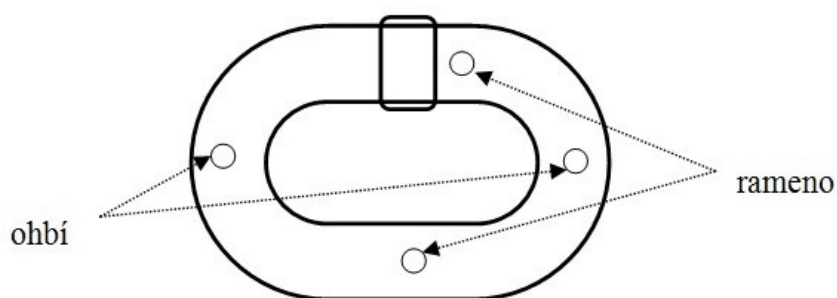
Rychlost 2,0 m/min

1. ohřev na teplotu 910-920°C; K1 = 56% (137-138 kW)
2. kalení do vody s polymerem – teplota lázně 30°C
3. ohřev na teplotu popouštění ohbí 400°C; K2 = 1% (2,5-4 kW)
ohřev na teplotu popouštění rameno 480°C; K3 = 85% (52 kW)
4. ochlazení do vody s přípravkem proti korozi – teplota lázně 60°C

3.3 Kvalitativní zkoušky řetězů

3.3.1 Zkouška tvrdosti

Tvrdost byla měřena na ofrézovaných a broušených člancích. Celkem bylo odebráno cca 1,5 mm. Články nebyly zkoušeny výrobní zkušební silou, měřeny byly vždy dva články a to jeden ze „sudé“ a druhý z „liché“ řady řetězu.



Obr.7 - Umístění vtisků při měření tvrdosti

3.3.2 Zkouška tahem

Před tahovou zkouškou jsou řetězy rozměru 16 mm × 48 mm nakalibrovány výrobní zkušební silou 251 kN viz. tabulka 2.

Na tahovou zkoušku se používá pěti nebo sedmi článkový vzorek řetězu. Zkouška probíhá na trhačím stroji do porušení článků. K porušení nesmí dojít ve svaru.



Obr.8 – Porušený článek u tahové zkoušky

3.3.3 Zkouška ohybem

Jednotlivé zkušební články musí odolávat minimálnímu průhybu podle tabulky 2 pro platné jmenovité tloušťky a nesmí vykazovat viditelné vady.

3.3.4 Zkouška na únavu při kmitavém napětí

Řetězy z kruhové oceli třídy 10 musí snést přinejmenším 20000 kmitů bez zlomu.

Horní zatížení pro každý cyklus zatížení musí odpovídat 1,5 násobné hodnotě nosnosti. Spodní zatížení pro každý cyklus zatížení musí být pozitivní a činit nejméně 3 kN viz tabulka 8.

Tab.8 – Hodnoty horního a dolního zatížení pro zkoušku únavy při kmitavém napětí

Jmenovité tloušťky [mm]	Nosnost [t]	Horní zatížení [kN] min.	Dolní zatížení [kN]
4	0,63	9,27	3,0
5	1	14,72	3,0
6	1,4	20,6	3,0
7	1,9	27,96	3,0
8	2,5	36,79	3,0
10	4	58,86	3,0
13	6,7	98,59	3,0
16	10	147,15	3,0
18	12,5	183,94	3,0
19	14	206,01	3,0
20	16	235,44	3,0
22	19	279,59	3,0
23	20	294,3	3,0
26	26,5	389,95	3,0

3.3.5 Zkouška vrubové houževnatosti

Zkouška spočívá v přeražení zkušební tyče jedním rázem kyvadlového kladiva, přičemž tyč má uprostřed vrub a je podepřena na obou koncích.

Vzorky pro zkoušku vrubové houževnatosti byly odebrány z nesvařeného ramene článku viz. obrázek č.9.

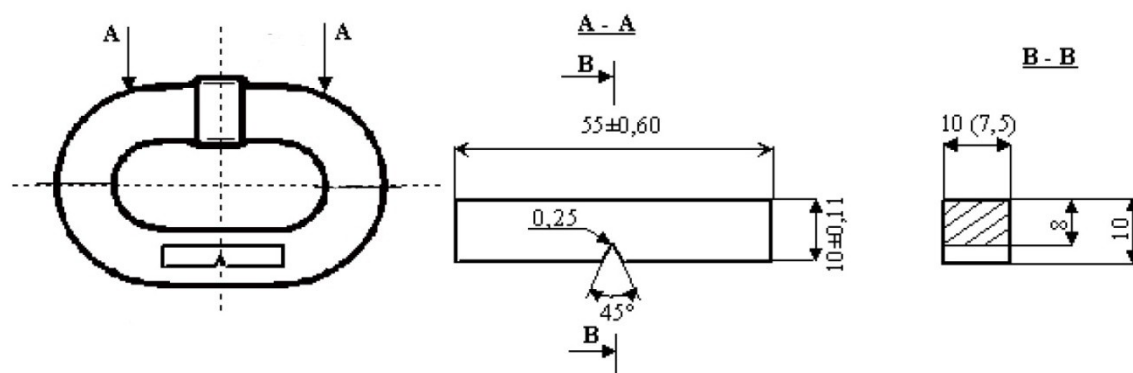
Požadavky zkoušky

Zkušební teplota: -40°C

Počet zkoušených článků: 3 články od každého vzorku

Průměrná hodnota ze 3 vzorků: minimálně 42 J.

Žádná jednotlivá hodnota nesmí být menší než 28 J.



Obr.9 - Umístění tyčinky v článku

3.3.6 Zkouška na odolnost proti korozi

Pětí článkový vzorek řetězu po zatížení výrobní zkušební silou je nutno ostříkat a odmastit. Jako zkušební roztok je nutno použít 200 g NH_4SCN na 800 g vody. Teplota zkušební roztoku musí být v oblasti zkušební nádoby $50^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$. [3]

Po dobu zkoušky je potřebných 500 hodin. Po ukončení zkoušky na odolnost proti korozi je nutno zkontrolovat zkušební vzorek řetězu na výskyt trhlinek.

Malé trhlinky v oblasti styku dvou článků řetězu se nehodnotí. [3]



Obr.10 - Prasknutý článek po korozní zkoušce

4 Výsledky

4.1 Výsledky zkoušky tvrdosti

Tvrdość byla měřena podle Rockwella.

Tab.9 – Naměřené hodnoty tvrdosti

Tvrdość HRC							
Vzorek č.1		Vzorek č.2		Vzorek č.3		Vzorek č.4	
Rameno	Ohbí	Rameno	Ohbí	Rameno	Ohbí	Rameno	Ohbí
37,5	39,5	38,0	40,0	37,5	40,5	35,0	40,5
39,0	41,0	38,5	41,0	37,5	41,5	35,5	40,5
Rameno	Ohbí	Rameno	Ohbí	Rameno	Ohbí	Rameno	Ohbí
38,5	40,0	37,0	38,5	37,5	36,0	37,0	39,0
40,0	40,5	37,0	40,0	38,0	37,0	37,0	39,0

4.2 Výsledky zkoušky tahem

Rychlost zatěžování 35 mm/min.

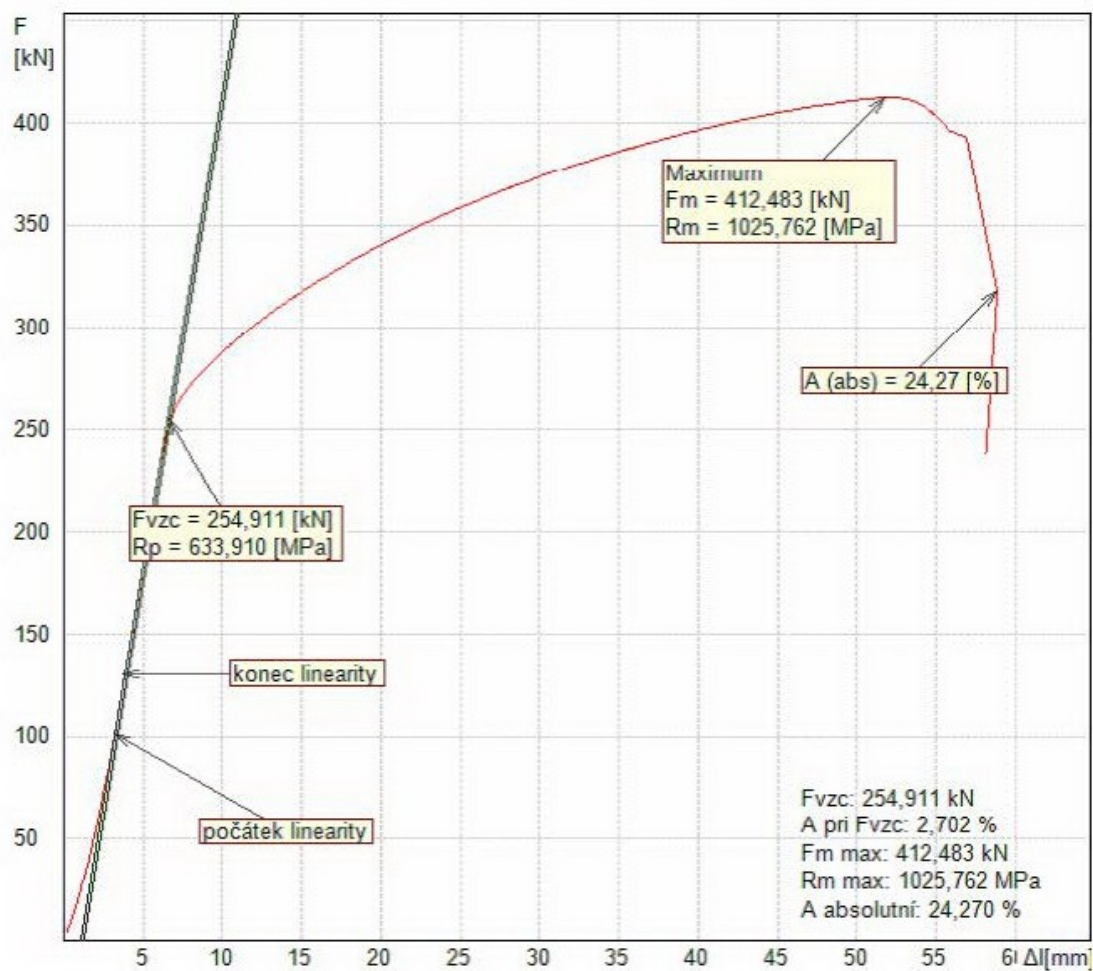
Vzorek č.1

Trhací síla – 412,48 kN

Pevnost v tahu – 1025,76 MPa

Zkušební síla – 254,91 kN

Prodloužení při přetržení – 24,27 %



Obr.11 - Graf tahové zkoušky – vzorek č.1

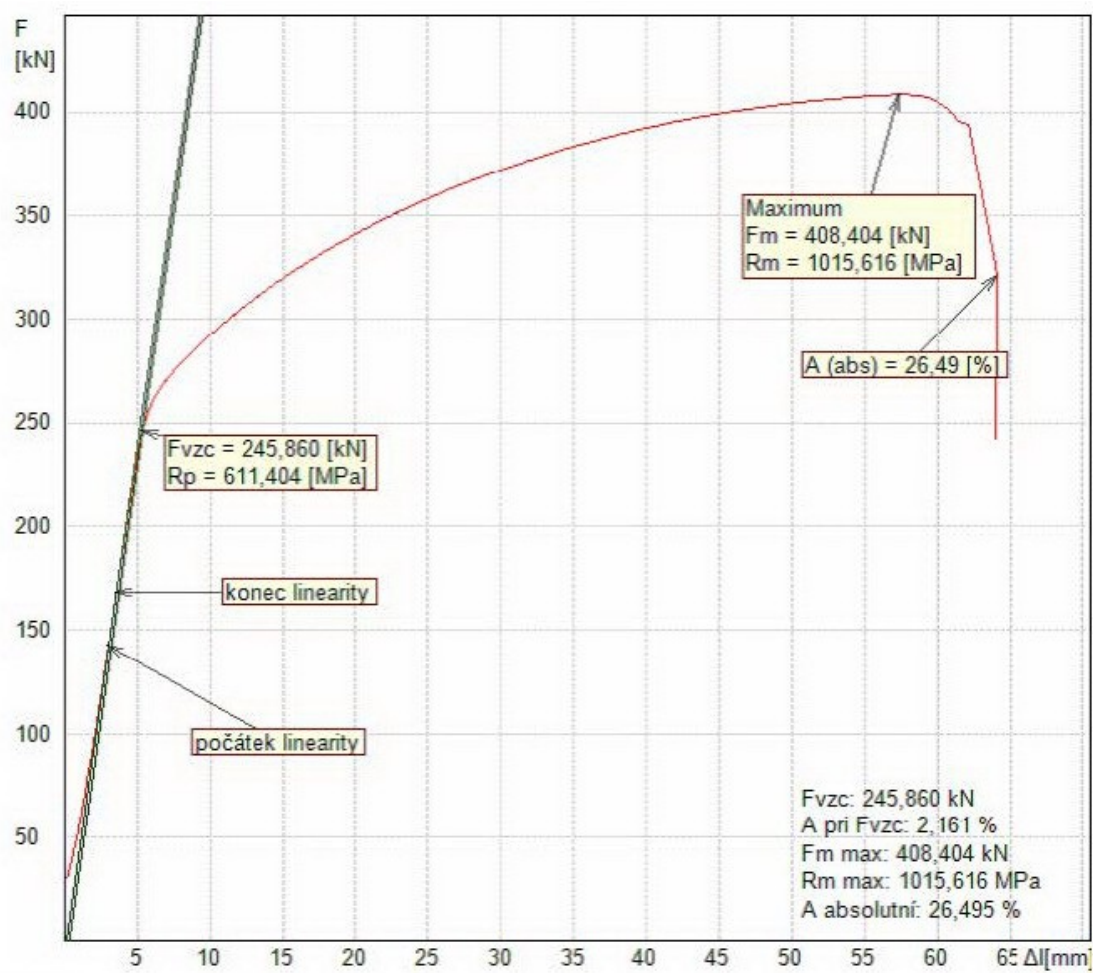
Vzorek č.2

Trhací síla – 408,40 kN

Pevnost v tahu – 1015,61 MPa

Zkušební síla – 245,86 kN

Prodloužení při přetržení – 26,49 %



Obr. 12 - Graf tahové zkoušky – vzorek č.2

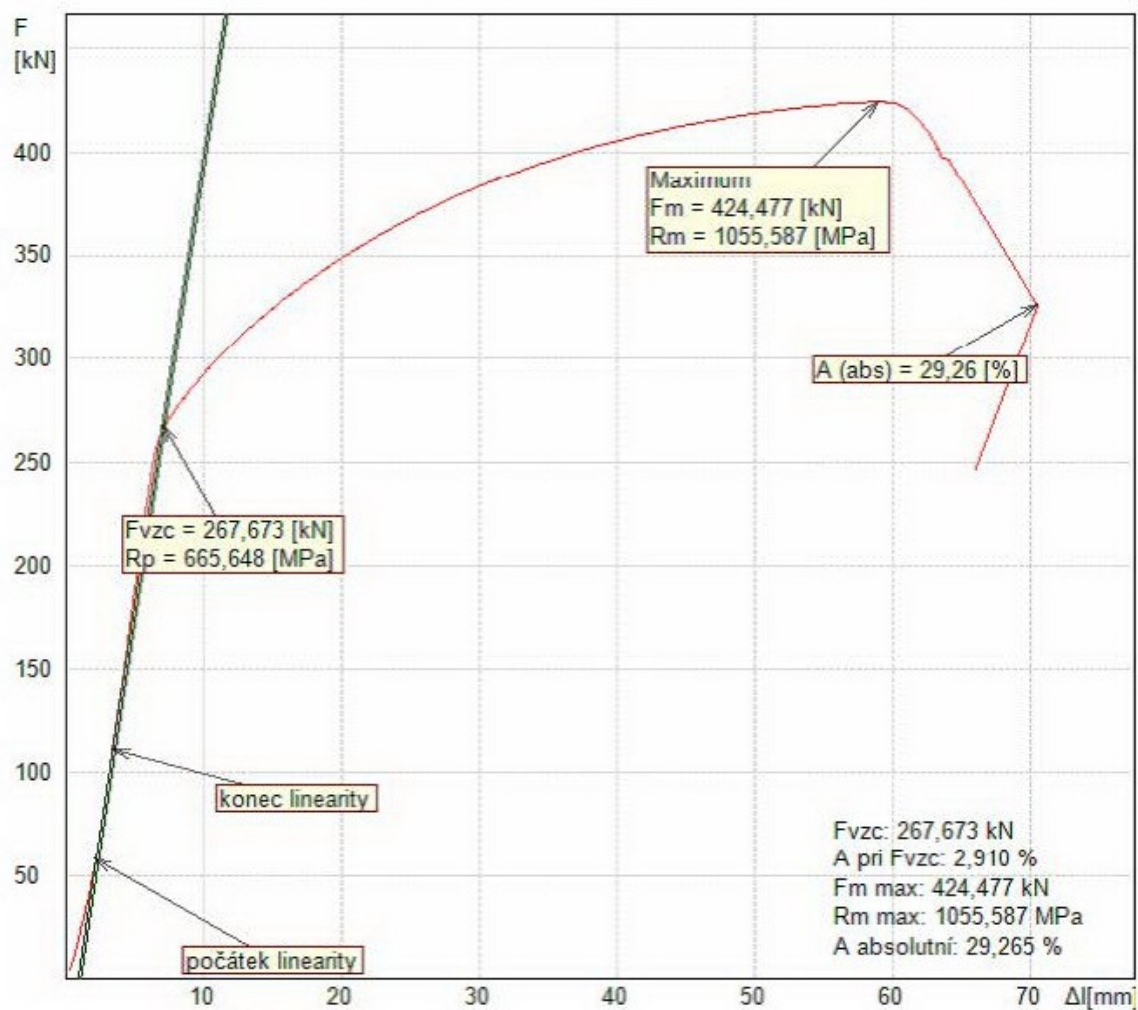
Vzorek č.3

Trhací síla – 424,48 kN

Pevnost v tahu – 1055,58 MPa

Zkušební síla – 267,67 kN

Prodloužení při přetržení – 29,26 %



Obr. 13 - Graf tahové zkoušky – vzorek č.3

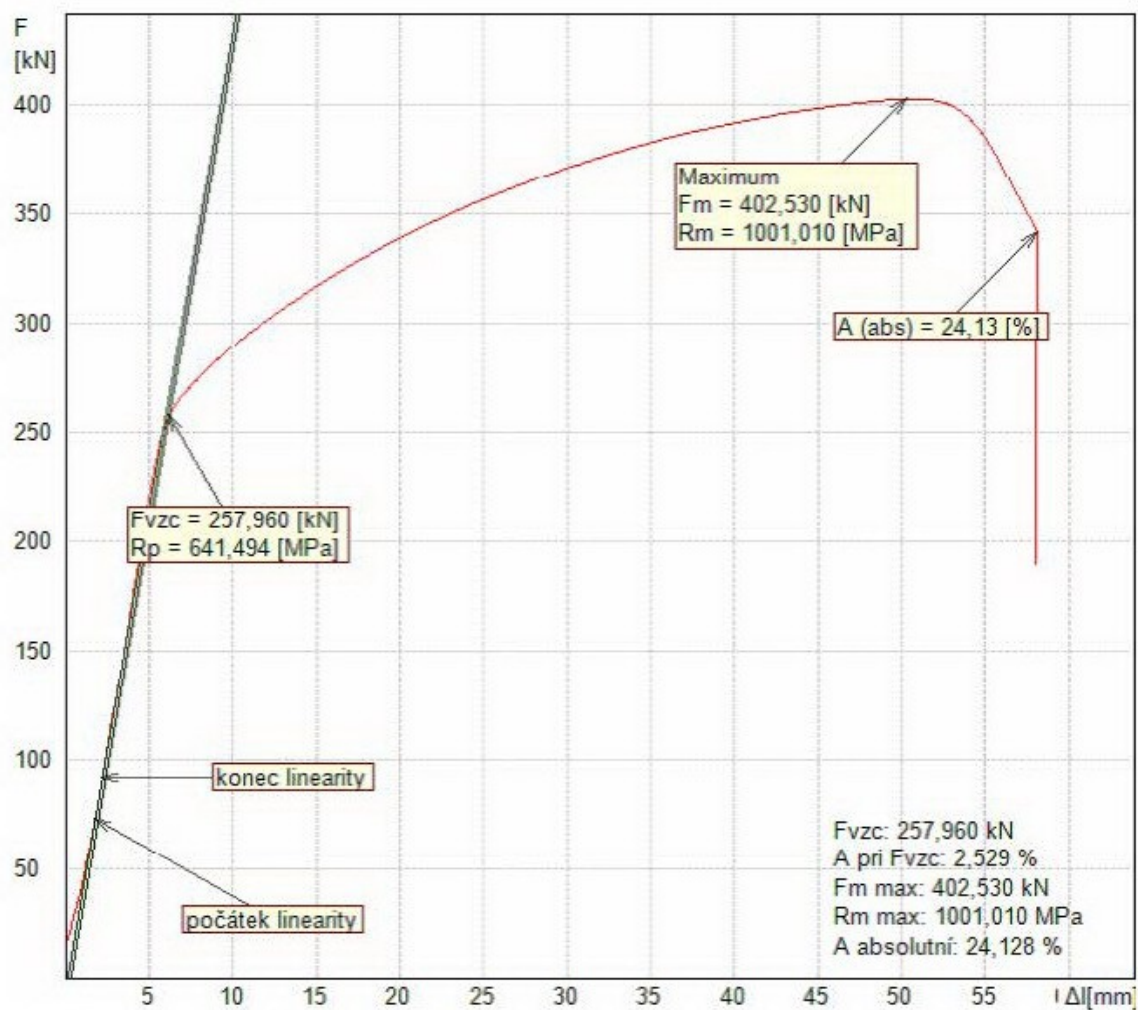
Vzorek č.4

Trhací síla – 402,53 kN

Pevnost v tahu – 1001,01 MPa

Zkušební síla – 257,96 kN

Prodloužení při přetržení – 24,13 %



Obr. 14 - Graf tahové zkoušky – vzorek č.4

4.3 Výsledky zkoušky ohybem

Tab.10 – Výsledky ohybové zkoušky

	Výsledek ohybové zkoušky	Výsledek ohýbací síly při průhybu 13 mm [kN]
Vzorek č.1	1× trhlina	168
	vyhovuje	170
Vzorek č.2	prasklina - svar	-
	vyhovuje	166
Vzorek č.3	vyhovuje	161
	vyhovuje	163
Vzorek č.4	1× trhlina	167
	vyhovuje	167

4.4 Výsledky zkoušky na únavu při kmitavém napětí

Upnutý pěti-člankový vzorek řetězu, tzn. zkoušeny tři články.

Tab.11 – Výsledky zkoušky na únavu při kmitavém napětí

	Únavová životnost [počet kmitů]
Vzorek č.1	24980
	22870
Vzorek č.2	17800
	19970
Vzorek č.3	21250
	25230
Vzorek č.4	23560
	20320

4.5 Výsledky zkoušky vrubové houževnatosti

Zkoušeno při teplotě -40°C.

Tab.12 - Výsledky zkoušky vrubové houževnatosti

	Nárazová práce [J]	Průměrná hodnota ze 3 vzorků [J]
Vzorek č.1	31,2	28
	27,7	
	25,1	
Vzorek č.2	33,9	37,7
	36,2	
	43,0	
Vzorek č.3	35,2	39,6
	38,6	
	45,0	
Vzorek č.4	31,2	33,5
	35,7	
	33,7	

4.6 Výsledky zkoušky na odolnost proti korozi

Tab.13 – Výskyt trhlinek po korozní zkoušce

	Počet trhlinek
Vzorek č.1	1× trhlina (styk dvou článků)
	1× trhlina
Vzorek č.2	1× trhlina
	1× trhlina - svar
Vzorek č.3	1× trhlina (styk dvou článků)
	bez trhin
Vzorek č.4	1× trhlina (styk dvou článků)
	1× trhlina (styk dvou článků)

5 Diskuze výsledků a závěr

Předmětem této bakalářské práce bylo provést studii odporového svařování řetězu třídy jakosti 10. V experimentální části bylo za úkol navrhnout parametry odporového svařování, postup tepelného zpracování a ověření vlastností svarových spojů.

V rámci experimentu byly svařeny 4 vzorky. Svařovací parametry jsem navrhl na základě předchozích zkušeností s odporovým svařováním řetězů podobných rozměrů a vlastností.

U tepelného zpracování jsou zvoleny dvě rozmezí kalících teplot. Zároveň u každé této teploty byly navrženy dvě kombinace popouštění ramene a ohbí. Každý vzorek řetězu byl tedy jinak tepelně zpracován.

Byly provedeny kvalitativní zkoušky podle požadavků normy PN 46-04 díl 2 a předpisu PAS 1061. Získané výsledky u tahové zkoušky ukázaly, že u vzorků č.1 a č.4 je nedostatečné prodloužení při přetržení. U následné zkoušky ohybem u těchto vzorků došlo ke vzniku trhlinek. U vzorku č.2 dokonce při této zkoušce zkoušený článek praskl. Normě PN 46-04 díl 2 tak vyhověl pouze vzorek č.3, který splňuje všechny požadavky uvedené v této normě.

Dále proběhly zkoušky, které jsou navíc uvedeny v předpisu PAS 1061. Zkouškou únavové životnosti neprošel pouze vzorek č.2. Tento vzorek neprošel také korozní zkouškou, tak jako vzorek č.1. Výsledky nárazové práce pak ukázaly na nedostatečnou vrubovou houževnatost, kdy žádný ze vzorků nedosáhl na minimální průměrnou hodnotu 42 J, ani do této chvíle vyhovující vzorek č.3. Žádný vzorek tedy nesplnil všechny požadavky stanovené předpisem PAS 1061, jako je např. současné splnění pevnosti v tahu ≥ 1000 MPa a hodnoty nárazové práce ≥ 42 J.

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. D. Schwarzovi, CSc. z katedry mechanické technologie VŠB-TU Ostrava za podněty k řešení práce, Ing. V. Bártkovi, Ph.D. z Řetězárny a.s. za odborné vedení a celému kolektivu výrobní technologie ŘČV a.s. za poskytnutí potřebných informací k vypracování této bakalářské práce.

6 Seznam použité literatury

- [1] KOUKAL, Jaroslav a Tomáš ZMYDLENÝ. *Svařování I*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, 133 s. ISBN 978-80-248-0870-3.
- [2] PN 46-04 díl 2. *Řetězy střední tolerance třída 10: podniková norma*. Česká Ves: Řetězárna a.s., 2011.
- [3] PAS 1061. *Řetězy z kruhové oceli pro vázací řetězy: Třída jakosti 10*. DIN Německý institut pro normování, 2006.
- [4] TUMLIKOVO: Vliv jednotlivých prvků na vlastnosti ocelí. *TUMLIKOVO* [online]. 7.2.2011 [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/vliv-jednotlivych-prvku-na-vlastnosti-oceli/>
- [5] ESAB: Odporové svařování natupo. *ESAB* [online]. ©2013 [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://www.esab.cz/cz/cz/education/processes-flash-butt.cfm>
- [6] WAFIOS A.S. *Návod k obsluze: Svářečka drátů, typ KEH 8*. 2011.
- [7] EFD INDUCTION A.S. *Návod k obsluze: Zařízení pro indukční ohřev, kalení a popouštění řetězů - Systém FC200×2/FC100/FC60*. 2003.